



**PROVINCIA DI FERMO**  
*SETTORE VIABILITA' - INFRASTRUTTURE - URBANISTICA*

---

**COMUNE DI AMANDOLA**

---

S.P. N. 239 (EX S.S. 210) FERMANA FALERIENSE  
- S.P. N. 237 (EX S.S. 78) PICENA. LAVORI DI  
AMMODERNAMENTO - BYPASS DI AMANDOLA

---

**PROGETTO DEFINITIVO**

---

**Ufficio Tecnico Servizio Viabilità**

Ing. Giuseppe LAURETI

Ing. Filippo LANZI

**Elaborazione dati cartografici:**

Dott. Ivan Ciarma

**Indagini geologiche:**

Geol. Costantino Berardini

---

**Data: Febbraio 2014**

scala: -

---

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:** Ing. Ivano Pignoloni

---

ELABORATO:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE

---

**B1**



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

---

## INDICE

---

1. PREMESSA	pag. 2
2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA	pag. 3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO	pag. 4
4. GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA ED ANALISI DELLA PERICOLOSITA'	pag. 6
5. GEOTECNICA	pag. 8
6. SISMICA E RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE	pag. 13
7. CONCLUSIONI	pag. 17

## ALLEGATI

---

- Corografia, scala 1:25.000
- Inquadramento geologico, scala 1:50.000
- Inquadramento Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- Carta geologica-geomorfologica scala 1:1.000
- Stratigrafie sondaggi geognostici
- Stratigrafie prove penetrometriche
- Indagini geotecniche di laboratorio
- Indagini geofisiche
- Sezioni geologiche, scala 1:200



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

## 1. PREMESSA

L'Amministrazione Provinciale di Fermo – Settore Viabilità-Infrastrutture-Urbanistica, dovendo procedere alla redazione del progetto per i lavori di realizzazione di un by-pass del centro abitato di Amandola (FM), ha effettuato lo studio geologico-tecnico dell'area e di un intorno significativo

La campagna dei rilievi e delle indagini è stata effettuata secondo la normativa vigente:

- D.M. LL PP n°.47 del 11.03.1988 (G.U. 01/06/1988, S.O. n°. 127) circa "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative circolari applicative (Circ. LL.PP. 24.09.1988 n°. 30483) che sancisce normativa tecnica riguardante le indagini sui terreni in attuazione della Legge n°. 64 del 02.02.1974;
- D.M. 14/01/2008 recante "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (G.U. 04/02/2008 n. 29);
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 02/02/2009, n. 617 C.S.LL.PP., "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2009" (G.U. n. 47 del del 26/02/2009).
- D.C.R. n. 116 del 2004 "Approvazione Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI" pubblicato sul Supplemento n. 5 al BUR n.15 del 13 Febbraio 2004.

Lo scopo principale del presente studio è: la caratterizzazione geologica, geomorfologia ed idrogeologica del sito al fine di verificare se il tracciato stradale intercetti aree a pericolosità geologica e la parametrizzazione geotecnica e sismica dei vari livelli rinvenuti, al fine di predisporre una corretta progettazione delle opere.

Nel corso dell'indagine si è proceduto dapprima ad un rilevamento geologico-geomorfologico di superficie, al fine di risalire alle caratteristiche litologiche del territorio ed individuare i processi morfogenetici che lo interessano, studio che si è ritenuto utile estendere ad un intorno significativo (Carta geologica-geomorfologica). In particolare l'analisi geomorfologia di dettaglio, espletata attraverso l'osservazione delle forme e degli eventuali depositi ad esse connessi, ha permesso di

RELAZIONE GEOLOGICA E SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE	Pagina 2 di 17
S.P. n. 239 "ex s.s. 210 Fermana-faleriense" – S.P. n. 237 "ex s.s. 78 Picena". Lavori di ammodernamento by-pass di Amandola. Comune di Amandola (FM).	



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

ricostruire il quadro morfogenetico del sito in esame e di formulare delle ragionevoli previsioni sulle tendenze evolutive future in relazione sia alle caratteristiche litostratigrafiche ed orografiche che alla dinamica geomorfologia.

La campagna delle indagini geognostiche è consistita nell'esecuzione di n. 24 sondaggi geognostici a rotazione a carotaggio continuo in cui sono state effettuate n. 16 prove SPT (Standard Penetration Test) in foro e prelevati n. 12 campioni di terre e rocce indisturbati (stratigrafie sondaggi geognostici).

I sondaggi S2, S5, S11 e S14 sono stati attrezzati con tubi in P.V.C. da 80 mm. di diametro e protetti con pozzetti metallici al fine di poter effettuare indagini geofisiche con tecnica Down Hole denominate rispettivamente DH1, DH2, DH3 e DH4 (indagini geofisiche).

I sondaggi S20 e S10 sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto denominati rispettivamente Pz1 e Pz2.

Successivamente sono state eseguite n. 48 prove penetrometriche dinamiche pesanti portate tutte fino al rifiuto strumentale (prove penetrometriche dinamiche).

Al fine di definire la classificazione sismica di progetto è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche consistenti in n. 4 prove in foro di sondaggio con tecnica Down Hole, n. 18 linee con tomografia sismica e n. 4 linee con tecnica MASW.

Sui n. 12 campioni indisturbati estratti, di cui n. 8 di terre con campionatore tipo Shelby e n. 4 di roccia con campionatore Dennison, sono state eseguite indagini geotecniche di laboratorio al fine di risalire alle caratteristiche fisiche, geotecniche e di deformazione.

## 2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA

I tratti stradali interessati dal progetto si collocano in vicinanza del centro abitato di Amandola (Corografia). I lavori interessano l'allargamento della S.P. 201 "Bora" a Nord del centro abitato (tratto 3), l'allargamento del vecchio tracciato della ferrovia Porto San Giorgio-Amandola (tratto 2) e la realizzazione di un nuovo tratto in corrispondenza dell'area Zoccolanti a Sud del centro abitato (tratto 1).

RELAZIONE GEOLOGICA E SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE	Pagina 3 di 17
S.P. n. 239 "ex s.s. 210 Fermana-faleriense" – S.P. n. 237 "ex s.s. 78 Picena". Lavori di ammodernamento by-pass di Amandola. Comune di Amandola (FM).	



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

L'area è inquadrata topograficamente nel Foglio 132 - Quadrante I°, in scala 1:25.000, della Carta Topografica Regionale (base I.G.M.).

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

L'area in esame ricade nella zona d'affioramento dei depositi torbiditici silico-clastici del "Bacino della Laga" che è il più grande dei bacini minori umbro-marchigiani-abbruzzesi (Inquadramento geologico).

Tale bacino si è morfologicamente individuato durante il Miocene Inferiore e medio sul dominio di avampaese. Nel Messiniano basale assume i caratteri di avanfossa, successivamente colmata da una potente successione torbiditica, poi nel Pliocene passa ad un dominio di bacino satellite (piggy back basing). La successione dei domini deposizionali riflette la rapida migrazione verso Est del complesso sistema catena-avanfossa a scapito dell'avampaese.

La successione litostratigrafica presente nella zona e nelle zone limitrofe è costituita dal complesso miocenico (Messiniano inferiore) di marne e arenarie, conosciuta in letteratura come "Formazione della Laga" (Centamore & Deiana, 1986). All'interno della formazione si distinguono, dal basso verso l'alto, tre membri: membro preevaporitico, membro evaporitico, membro postevaporitico.

Questi sedimenti di origine prevalentemente marina, dopo la fase di corrugamento ed emersione, sono stati ricoperti da sedimenti di ambiente tipicamente continentale, costituiti da coltri di coperture detritiche eterogenee, derivanti dal disfacimento subaereo (weathering) dei litotipi del substrato e dalla risedimentazione colluviale e da depositi alluvionali grossolani messi in posto dal fiume Tenna.

Il substrato è costituito principalmente da livelli marnoso-arenacei di colore grigio alternati a livelli arenacei sia grigi che colore Ocra (Sondaggi geognostici).

Il tracciato stradale può essere diviso in tre tratti principali, a seconda delle litologie affioranti (carta geologica-geomorfologica):



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

- TRATTO 1: Nuovo tracciato in corrispondenza dell'area denominata Zoccolanti:

Inizia ad Ovest con l'intersezione a rotatoria con la S.P. 237 "ex s.s. 78 Picena" fino all'intersezione con il tracciato dell'ex ferrovia Porto San Giorgio-Amandola.

Interesserà completamente i terreni granulari del materasso alluvionale di sinistra idrografica del fiume Tenna, costituito da ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa di spessore di circa 4.0-5.0 ml. che poggiano sul substrato arenaceo-marnoso (sezioni geologiche). La livelletta di progetto segue fedelmente l'andamento topografico determinando di fatto minime quantità di scavi e di riporti.

- TRATTO 2: Allargamento del tracciato dell'ex ferrovia A.F.A.:

Inizia ad Ovest in corrispondenza dell'area Zoccolanti e termina ad Est con l'intersezione a rotatoria con la S.P. 239 "ex s.s. n. 210 Fermana-Faleriense".

Interessa il versante di sinistra idrografica del fiume Tenna caratterizzato costantemente dall'affioramento dei termini dell'Associazione Arenacea ed Arenaceo-Pelitica della Formazione della Laga. In corrispondenza dei due impluvi principali sono stati rinvenute (sondaggi S14, S10) potenti coltri detritiche e di paleofrana, con una spessore fino a 13.0 ml., provenienti dai crolli determinatisi lungo il versante a monte dell'area in oggetto.

Tali sedimenti presentano un fuso granulometrico passante da limi alle argille plastiche, alle ghiaie di natura carbonatica di forma arrotondata, ai ciottoli e blocchi di forma sub-angolare di natura arenacea e sono interessati da falda idrica in corrispondenza della superficie di contatto con la formazione di base (substrato).

- TRATTO 3: Allargamento ed ammodernamento della S.P. 201 "Bora":

Inizia ad Est con l'intersezione a rotatoria con la S.P. 239 "ex s.s. n. 210 Fermana-Faleriense" e finisce ad Ovest all'intersezione con la S.P. 196 "Callugo".

Insiste prevalentemente sui i termini litoidi della Formazione delle Laga, che a luoghi sono ricoperte da sedimenti limo-sabbiosi di origine eluvio-colluviale che presentano esiguo spessore.

Solo la parte più ad Ovest del tratto interessa l'impluvio del fosso alimentatore del torrente Callugo in cui sono stati rinvenuti fino 10.0 ml. di coltre detritica e di paleofrana con fuso granulometrico eterogeneo variabile dalle ghiaie, alle sabbie ai limi.

RELAZIONE GEOLOGICA E SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE	Pagina 5 di 17
S.P. n. 239 "ex s.s. 210 Fermana-faleriense" – S.P. n. 237 "ex s.s. 78 Picena". Lavori di ammodernamento by-pass di Amandola. Comune di Amandola (FM).	



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

## 4. GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA ED ANALISI DELLA PERICOLOSITA'

Dal punto di vista geomorfologico l'area di Amandola appare in generale in buone condizioni di stabilità grazie alla presenza delle aree alluvionali terrazzate ed all'affioramento dei depositi arenacei ed arenaceo-pelitici della "Formazione della Laga". Dall'analisi degli elaborati del Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (P.A.I.) la totalità degli interventi previsti risultano esterni alle aree perimetrale a rischio idrogeologico (inquadramento Piano Assetto Idrogeologico P.A.I.). Tuttavia l'accumulo di potenti coltri detritiche e di paleofrana, determina la presenza di movimento attivi e quiescenti classificabili come scivolamenti che coinvolgono a luoghi anche la coltre di alterazione (eluvioni).

Il fiume Tenna, principale agente morfogenetico dell'area, si presenta incassato in una valle stretta e profonda con evidenti segnali di erosione in alveo e di sponda. L'erosione laterale si manifesta poi più in quota dove l'arretramento dei versanti determina la presenza di scarpate di erosione fluviale potenzialmente instabile. Lungo il versante di sinistra idrografica si rinvengono le caratteristiche aree terrazzate a luoghi ormai quasi totalmente smantellate dagli agenti esogeni.

### - TRATTO 1: Nuovo tracciato in corrispondenza dell'area denominata Zoccolanti:

Si colloca in corrispondenza del materasso alluvionale di sinistra idrografica del fiume Tenna caratterizzato da geometria tabulare e lieve pendenza verso Sud. In tali aree gli unici elementi di pericolosità possono essere individuati nel passaggio del nuovo tratto stradale in vicinanza ad orli di scarpata di erosione fluviale. Tali scarpate si presentano non particolarmente attive, ma in condizioni sismiche potrebbero dar luogo a cedimenti e crolli con conseguente arretramento.

### - TRATTO 2: Allargamento del tracciato dell'ex ferrovia A.F.A.:

Si colloca in corrispondenza di un versante esposto a Sud caratterizzato da elevata pendenza. L'affioramento dei termini litoidi della formazione della Laga determina in generale un buon grado di stabilità generale. Si evidenzia comunque che in corrispondenza degli impluvi, la presenza di potenti accumuli di paleofrana, dovuti ad antiche frane di crollo che interessavano la parte sommitale del versante, determinano la presenza di movimenti gravitativi sia attivi che quiescenti.



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

---

Tali evidenze sono confortate anche dalla presenza di opere probabilmente realizzate a protezione della linea ferroviaria Porto San Giorgio-Amandola.

- TRATTO 3: allargamento ed ammodernamento della S.P. 201 "Bora":

Il tratto si colloca in corrispondenza del versante Nord dell'abitato di Amandola anch'esso caratterizzato dall'affioramento dei termini della Formazione della Laga. Dal rilevamento geomorfologico sono state comunque rilevate evidenze di movimenti gravitativi, classificabili come scivolamenti, che coinvolgono oltre l'esigua coltre detritica (colluvioni) a luoghi anche la coltre di alterazione del substrato (eluvioni).

Nella porzione più ad Ovest, in corrispondenza di un impluvio, è stata rilevata la presenza di una potente coltre detritica eterogenea che è interessata da un esteso movimento gravitativo, ad oggi quiescente.

Dal punto di vista idrogeologico i termini alluvionali terrazzati sono dotati di buona permeabilità ed interessati da esigue falde idriche tamponate dal substrato arenaceo-marnoso.

I termini arenaceo-marnosi della "Formazione della Laga" presentano permeabilità primaria pressoché nulla con possibili e localizzati fenomeni di permeabilità secondaria per fatturazione.

Le coltri detritiche e di paleofrana più potenti, che colmano i maggiori impluvi sono caratterizzati da permeabilità variabile e dalla presenza di falda idrica.





# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

## 5. GEOTECNICA

Ai fini della definizione del modello geotecnico dell'area, oltre ai n. 24 sondaggi geognostici, alle 16 prove S.P.T. in foro e alle n. 48 prove penetrometriche dinamiche sono stati analizzati in laboratorio geotecnico n. 12 campioni di terra e roccia indisturbati.

I campioni estratti e le relative quote di prelievo sono le seguenti:

SONDAGGIO	DENOMINAZIONE CAMPIONE	TIPOLOGIA	STATO (A.G.I.)	QUOTA PRELIEVO
S1	S1 - C1	TERRA	INDISTURBATO	3.6 - 3.9
S1	S1 - C2	TERRA	INDISTURBATO	9.5 - 10.0
S1	S1 - C3	ROCCIA	INDISTURBATO	13.7 - 14.2
S5	S5 - C1	TERRA	INDISTURBATO	2.0 - 2.35
S5	S5 - C2	ROCCIA	INDISTURBATO	11.0 - 11.9
S10	S10 - C1	TERRA	INDISTURBATO	19.0 - 19.4
S11	S11 - C1	TERRA	INDISTURBATO	3.5 - 3.9
S11	S11 - C2	ROCCIA	INDISTURBATO	18.0 - 19.0
S14	S14 - C1	TERRA	INDISTURBATO	10.0 - 10.5
S14	S14 - C2	TERRA	INDISTURBATO	19.5 - 20.0
S18	S18 - C1	ROCCIA	INDISTURBATO	12.0 - 12.7
S20	S20 - C1	TERRA	INDISTURBATO	4.0 - 4.5

Tabella 1: Caratteristiche dei campioni indisturbati estratti.

Le analisi effettuate sui campioni possono essere riassunte nella seguente tabella:

SONDAGGIO	CAMPIONE	TIPOLOGIA	INDAGINE GEOTECNICA
S1	S1 - C1	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione contenuto acqua</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li><li>- Prova di compressione triassiale UU</li><li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li></ul>
S1	S1 - C2	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li></ul>



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

			<ul style="list-style-type: none"><li>- Prova Edometrica IL</li><li>- Prova di compressione triassiale UU</li><li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li></ul>
S1	S1 - C3	ROCCIA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li></ul>
S5	S5 – C1	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione contenuto acqua</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li><li>- Prova di compressione triassiale UU</li><li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li></ul>
S5	S5 – C2	ROCCIA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Compressione triassiale (Cella di Hooke)</li></ul>
S10	S10 – C1	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione contenuto acqua</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li><li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li></ul>
S11	S11 – C1	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione contenuto acqua</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li><li>- Prova di compressione triassiale UU</li><li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li></ul>
S11	S11 – C2	ROCCIA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Compressione triassiale (Cella di Hooke)</li></ul>
S14	S14 - C1	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li><li>- Prova Edometrica IL</li><li>- Prova di compressione triassiale UU</li><li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li></ul>
S14	S14 – C2	TERRA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Peso di volume naturale</li><li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li><li>- Prova Edometrica IL</li></ul>
S18	S18 – C1	ROCCIA	<ul style="list-style-type: none"><li>- Descrizione</li><li>- Determinazione peso di volume naturale</li><li>- Compressione triassiale (Cella di Hooke)</li></ul>



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

S20	S20 – C1	TERRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrizione</li> <li>- Determinazione peso di volume naturale</li> <li>- Peso di volume naturale</li> <li>- Analisi granulometrica (setacciatura)</li> <li>- Prova Edometrica IL</li> <li>- Prova di compressione triassiale UU</li> <li>- Prova di taglio diretto (scatola di Casagrande)</li> </ul>
-----	----------	-------	--

Tabella 2: Elenco analisi di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati estratti.

Le risultanze delle prove di classificazione sui campioni di terre possono essere di seguito sintetizzati:

Sondaggio N°	Campione N°	Profondità (m)	w medio (%)	$\gamma$ medio (Mg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ medio (Mg/m <sup>3</sup> )	PESO SPECIFICO DEI GRANI (Mg/m <sup>3</sup> )	e	n	Sr (%)	LIMITI DI ATTEMBERG				GRANULOMETRIA			
										LL (%)	LP (%)	IP (%)	Ic	ASTM D 2487 - 93			
														ghiaia (%)	sabbia (%)	limo (%)	argilla (%)
S1	CI1	3.60 - 3.90	16.0	2.03	1.75	2.70	0.54	0.35	79.6	-	-	-	-	0.2	4.1	52.1	43.6
S1	CI2	9.50 - 10.00	15.1	2.10	1.82	2.70	0.48	0.32	85.0	-	-	-	-	5.2	16.7	54.5	23.6
S5	CI1	2.00 - 2.35	10.1	1.88	1.71	2.70	0.58	0.37	46.9	-	-	-	-	13.0	17.8	41.2	28.0
S10	CI1	19.00 - 19.50	9.9	2.14	1.95	2.70	0.39	0.28	69.1	-	-	-	-	0.2	41.3	40.0	18.5
S11	CI1	3.50 - 3.90	9.3	1.71	1.56	2.70	0.73	0.42	34.6	-	-	-	-	5.6	28.7	39.1	26.6
S14	CI1	10.00 - 10.50	24.8	1.99	1.60	2.70	0.69	0.41	97.4	-	-	-	-	6.9	43.4	31.0	18.7
S14	C2	19.50 - 20.00	10.8	2.12	1.91	2.70	0.41	0.29	70.9	-	-	-	-	0.2	4.8	52.7	42.3
S20	CI1	4.50 - 5.00	20.8	2.04	1.69	2.70	0.60	0.37	93.8	-	-	-	-	0.3	42.1	34.9	22.7

**Legenda:**

w = contenuto naturale d'acqua medio; g = peso di volume umido medio;  $\gamma_d$  = peso di volume secco medio; e = indice dei vuoti; n = porosità; Sr = grado di saturazione; LL = limite liquido; LP = limite plastico; IP = indice di plasticità; Ic = indice di consistenza.

Tabella 3: Risultati delle prove di classificazione delle terre.



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

I risultati delle prove geo-meccaniche sulle terre sono sintetizzati nella seguente tabella:

Sondaggio N°	Campione N°	Profondità (m)	PROVA DI TAGLIO DIRETTO			PROVA TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA (UU)			PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA			P.P.
			$\sigma$ (kPa)	$c'$ (kPa)	$\varphi$ (°)	$\sigma$ (kPa)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	$C_u$ (kPa)	$\sigma$ (kPa)	M (MPa)	$C_v$ ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	
S1	CI1	3.60	50	14	29	50	381	212	-	-	-	> 600
		-	100			100	415					> 600
		3.90	150			150	478					> 600
S1	CI2	9.50	100	25	31	100	584	312	50	3.9	2.8E-04	450
		-	200			200	614		100	4.5	5.4E-04	500
		10.00	300			300	673		200	5.0	4.5E-04	550
S5	CI1	2.00	50	15	28	50	385	211	-	-	-	> 600
		-	100			100	416					> 600
		2.35	150			150	463					> 600
S10	CI1	19.00	300	32	33	-	-	-	-	-	-	200
		-	400			-	-					300
		19.50	500			-	-					350
S11	CI1	3.50	50	16	27	50	313	176	-	-	-	550
		-	100			100	345					600
		3.90	150			150	397					> 600
S14	CI1	10.00	100	19	25	100	54	40	25	0.8	8.5E-04	100
		-	200			200	80		50	1.4	9.0E-04	110
		10.50	300			300	106		100	2.4	1.7E-03	100
S14	C2	19.50	-	-	-	-	-	-	50	3.9	4.7E-04	> 600
		-	-			-	-		100	4.0	7.4E-04	> 600
		20.00	-			-	-		200	5.8	8.4E-04	> 600
S20	CI1	4.50	50	6	28	50	59	45	25	1.5	2.2E-04	150
		-	100			100	79		50	2.1	4.6E-04	100
		5.00	150			150	130		100	3.3	5.3E-04	110

Legenda:

$\sigma$  = tensione normale;  $c'$  = coesione efficace;  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio; M = modulo edometrico;  
 $C_v$  = coefficiente di consolidazione primaria;  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  = sforzo deviatorico;  $C_u$  = coesione non drenata;  
 P.P. = pocket penetrometer.

Tabella 4: Risultati delle prove geo-meccaniche sulle terre.



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

I risultati delle prove geo-meccaniche sulle rocce sono sintetizzati nella seguente tabella:

Sondaggio N°	Campione N°	Profondità (m)	w medio (%)	$\gamma$ medio (Kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ medio (Kg/m <sup>3</sup> )	PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CON RILIEVO DELLE DEFORMAZIONI					
						$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_f$ (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	E <sub>t</sub> (MPa)	$\nu_s$ -	$\nu_t$ -
S1	CI3	13.70	13.0	2364.23	2091.36	-	-	-	-	-	-
		14.20									
S5	CI2	11.00	5.9	2187.73	2066.14	0.5	9.60	1971	1676	0.40	0.35
		-				1.0	10.40	2096	2294	0.16	0.36
		11.90				1.5	11.00	2103	2181	0.28	0.39
S11	CI2	18.00	9.5	2311.61	2111.45	0.5	18.29	1767	2322	0.22	0.46
		-				1.0	20.32	1661	2565	0.15	0.42
		19.00				1.5	21.94	2138	2966	0.21	0.47
S18	CI1	12.00	7.8	2262.07	2098.62	0.5	6.39	999	873	0.28	0.27
		-				1.0	7.22	1278	931	0.29	0.35
		12.70									

Legenda:

w = contenuto naturale d'acqua medio; g = peso di volume umido medio; gd = peso di volume secco medio;  $\sigma_3$  = pressione di confinamento;  $\sigma_f$  = tensione a rottura; E<sub>s</sub> = Modulo elastico secante; E<sub>t</sub> = Modulo elastico tangente;  $\nu_t$  = Modulo di Poisson tangente;  $\nu_s$  = Modulo di Poisson secante

Tabella 5: Risultati delle prove di classificazione e geomeccaniche sulle rocce.

Vista la lunghezza e complessità del tracciato stradale e la variabilità ed eterogeneità dei livelli geotecnici interessati, risulta difficile riassumere in una tabella i parametri fisici e geotecnici dei vari livelli geotecnici rinvenuti. Pertanto, al fine della ricostruzione del modello geotecnico, si rimanda alla consultazione delle sezioni geologiche allegate in cui puntualmente sono state riportate le caratteristiche fisiche, geotecniche e geofisiche riscontrate nelle indagini effettuate (sondaggi geognostici, prove penetrometriche dinamiche ed indagini geofisiche).

Pertanto, ai fini della progettazione geotecnica, ogni opera dovrà essere puntualmente inserita all'interno del complesso modello geotecnico di riferimento.



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

## SISMICA E RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Al fine di definire la classificazione sismica di progetto ai sensi del D.M. 14/01/2008, sono state eseguite le seguenti linee sismiche con la tecnica della tomografia sismica:

LINEA	LUNGHEZZA (m)	RICEVITORI (n°)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	TIPOLOGIA
LN1	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN2	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN3	96	24	4	TOMOGRAFIA SISMICA
LN4	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN5	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN6	96	24	4	TOMOGRAFIA SISMICA
LN7	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN8	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN9	96	24	4	TOMOGRAFIA SISMICA
LN10	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN11	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN12	140	28	5	TOMOGRAFIA SISMICA
LN13	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN14	96	24	4	TOMOGRAFIA SISMICA
LN15	140	28	5	TOMOGRAFIA SISMICA
LN16	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN17	48	24	2	TOMOGRAFIA SISMICA
LN18	96	24	4	TOMOGRAFIA SISMICA

Tabella 6: Elenco e caratteristiche delle linee in tomografia sismica eseguite.



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

Sono state inoltre eseguite n. 4 linee sismiche con tecnica MASW:

INDAGINE	LUNGHEZZA (m)	LINEA SISMICA	Vs30 (m/secc)	TIPOLOGIA INDAGINE
MASW1	17	LN1	444	MASW
MASW2	18	LN13	436	MASW
MASW3	20	LN12	520	MASW
MASW4	20	LN16	514	MASW

Tabella 7: Elenco delle linee sismiche con tecnica M.A.S.W..

Sono state inoltre eseguite n. 4 indagini geofisiche con tecnica Down Hole in foro di sondaggio:

INDAGINE	LUNGHEZZA (m)	SONDAGGIO	Vs30 (m/secc)	TIPOLOGIA INDAGINE
DH1	17	S2	305	DOWN HOLE
DH 2	18	S5	335	DOWN HOLE
DH 3	20	S11	379	DOWN HOLE
DH 4	20	S14	475	DOWN HOLE

Tabella 8: Elenco delle indagini geofisiche con tecnica Down Hole in foro di sondaggio.

In base alla Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n°. 3274 del 20/03/2003 e smi recante "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica", il territorio comunale di Amandola (FM) è stato classificato come appartenente alla zona 2.

Il D.M. 14/01/2008, prevede che ai fini della definizione di Azione Sismica di progetto si definiscano i seguenti parametri:

- 1) Categoria di suolo di fondazione;
- 2) Calcolo azione sismica;
- 3) Coefficiente di amplificazione topografica ST.



# PROVINCIA DI FERMO

## SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

Per il primo la normativa individua le seguenti categorie di suolo di fondazione:

A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m..
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m. caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media N <sub>spt30</sub> > 50 nei terreni a grana grossa, o cu <sub>30</sub> > 250kPa nei terreni a grana fine).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m. caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s (15 < N <sub>spt</sub> < 50 nei terreni a grana grossa, 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori maggiori di 30 m. caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 < 180 (ovvero N <sub>spt</sub> < 15 nei terreni a grana grossa, cu < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore ai 20 m. posti su substrato di riferimento con Vs30 > 800m/s.

La categoria di suolo potrà essere di volta in volta e per ogni opera stabilita in base alle risultanze delle indagini geofisiche eseguite con tecnica Down Hole, tomografia sismica e MASW (Indagini geofisiche).

Per quanto riguarda la definizione dell'attrezzatura utilizzata, della potenza e velocità media dei sismostrati e delle sezioni sismiche si rimanda alla consultazione dell'allegato denominato indagini geofisiche. I valori di ag, espressi come frazione dell'accelerazioni di gravità g, da adottare in ciascuna delle azioni sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valori di ag
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Per il caso in esame, essendo l'intero territorio interessato dal progetto, ricadente in zona 2 il valore ag corrispondente è pari a 0,25g.





# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

Per tener conto delle condizioni topografiche del sito per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tabella 3.2. IV del D.M.14/01/2008).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $< 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30^\circ$

Il coefficiente di amplificazione topografica ST in funzione delle categorie topografiche precedentemente descritte e dell'ubicazione degli interventi sono riportate nella seguente tabella (Tabella 3.2. VI del D.M. 14/01/2008).

Categoria	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Anche in questo caso, vista la complessità del tracciato e la variabilità delle condizioni stratigrafiche, sismiche e topografiche, ai fini della classificazione sismica di progetto, ogni singola opera dovrà essere puntualmente inserita nel complesso modello geologico, sismico e geotecnico.



# PROVINCIA DI FERMO

SETTORE VIABILITA' – INFRASTRUTTURE - URBANISTICA

---

## 6. CONCLUSIONI

Il presente studio geologico-tecnico e le indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche eseguite per la sua redazione, hanno permesso di definire i modelli geologico, geotecnico e sismico del sito in esame. Il tracciato stradale da ammodernare e quello da realizzare ex-novo interessano aree che risultano esterne a quelle perimetrale a rischio idrogeologico dal P.A.I..

Comunque il tracciato interessa anche aree in cui sono ben visibili segnali di instabilità attivi ed aree in cui gli scavi ed i riporti potrebbero innescare eventuali instabilità oggi quiescenti.

Considerata la lunghezza del tracciato e la complessità del modello geotecnico e sismico rilevato dal presente studio, al fine della corretta progettazione di ogni opera, riferita all'interazione terreno-struttura, la stessa dovrà essere puntualmente inserita nel modello e successivamente dovranno essere redatte, per ognuna, le analisi di stabilità globale e le calcolazioni geotecniche in condizioni sismiche.

Fermo li, 09 Ottobre 2013

Il Geologo

Dott. Costantino Berardini